

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	K中間子を用いた低エネルギーハドロン動力学におけるフレーバーSU(3) 対称性の破れの現象論的研究
Title(English)	Phenomenological study on SU(3) flavor symmetry breaking in low-energy hadron dynamics induced by kaon
著者(和文)	飯澤優太郎
Author(English)	Yutaro Iizawa
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12308号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:慈道 大介,伊藤 克司,関澤 一之,藤岡 宏之,須山 輝明
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12308号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	飯澤優太朗	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	慈道 大介	教授	須山 輝明	准教授
	審査員	伊藤 克司	教授		
		関澤 一之	准教授		
藤岡 宏之		准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

物質を形成する陽子や中性子などのハドロンは基本粒子クォークから構成されているが、クォークが単体では観測されないクォークの閉じ込め機構のため、実験で観測される最小単位はハドロンである。そのため、ハドロンの構造や相互作用は自然界の現象を理解する上で基礎を与える。理論においても、クォーク・グルーオンの動力学は量子色力学で定式化されているが、低エネルギーでの強い結合によりハドロン構造・反応を基礎理論から理解するのは困難であるため、基礎理論の対称性に基いたハドロン有効理論や有効模型による現象論的なアプローチが効果的である。特に、クォークの持つフレーバー対称性の破れの効果を明らかにすることは、ハドロン間相互作用の詳細を理解する上で重要であるだけでなく、量子色力学におけるストレンジクォークの役割を明らかにする。

本学位論文は「Phenomenological study on SU(3) flavor symmetry breaking in low-energy hadron dynamics induced by kaon」(邦題: K 中間子を用いた低エネルギーハドロン動力学におけるフレーバー SU(3) 対称性の破れの現象論的研究)と題し、ストレンジクォークを含む K 中間子の関わるハドロン反応からフレーバー対称性の破れを現象論的に研究し、ハドロン現象におけるストレンジクォークの役割を明らかにすることを目的としている。具体的には、 $\Lambda$  粒子と核子(陽子と中性子の総称, N)の相互作用におけるアイソスピン対称性の破れを測定するのに適したハドロン反応の提案、核媒質中でのストレンジクォーク凝縮の変化を現象論的に予想するための K 中間子核子散乱振幅のカイラル摂動論に基づく記述、K 中間子原子における強い相互作用によるエネルギー準位の斥力シフトの起源の解明を行った。

本論文は 8 つの章から構成されている。第 1 章では、物質の成り立ちから始まり素粒子標準模型やハドロン物理学の概観が簡潔に解説されている。第 2 章では、強い相互作用の真空構造を決めるカイラル対称性の自発的破れなど低エネルギーの量子色力学の特徴が要領よくまとめられる。量子色力学が持つフレーバー対称性やカイラル対称性の代数構造や現象論的帰結について詳細に述べられており、ハドロン物理における対称性とその破れの重要性が強調されている。第 3 章では、核子系でのアイソスピン対称性の破れと核媒質中でのカイラル対称性の部分的回復について述べられ、本研究の背景と動機が詳細に述べられている。第 4 章では、ハドロン反応を計算する際に標準的に用いられるカイラル摂動論や複素ポテンシャルを含む Klein-Gordon 方程式の数値的解法などの本研究に用いられる理論的手法についてまとめられている。

第 5 章では、本論の一つである  $\Lambda N$  相互作用におけるアイソスピン対称性の破れを測定するためのハドロン反応の提案について述べられている。アイソスピン対称性は陽子と中性子の入れ替えに対する対称性でハドロン相互作用においては良い対称性として知られている。しかしながら、近年のハイパー核の研究において軽い鏡像核間の励起エネルギーが通常核に比べて大きい可能性が指摘され、その原因が  $\Lambda N$  相互作用のアイソスピン対称性の破れに求められている。 $\Lambda$  と陽子(p)の相互作用は実験的に測られているが、 $\Lambda$  と中性子(n)については実験データがない。本研究では、 $\Lambda p$  相互作用と  $\Lambda n$  相互作用の差を見るためには、重陽子標的を用いた  $K^+ d \rightarrow \pi^+ \Lambda N$  反応においてしきい値近傍の  $\Lambda N$  エネルギースペクトルを観測するのが適していることを、具体的な反応計算を行うことで提案している。 $K^+ d \rightarrow \pi^+ \Lambda N$  反応では終状態の  $\pi$  中間子の電荷を選ぶことで、 $\Lambda p$  と  $\Lambda n$  相互作用を同じ反応で測定することが可能であり、二つの相互作用を直接比較できることが利点である。

第 6 章では、ストレンジクォークを含むカイラル凝縮の核媒質中での変化を予想するために、K 中間子と核子の散乱振幅を、カイラル摂動論を用いて実験から決めることを行った。低密度近似では核媒質中のクォーク凝縮の変化は対応する南部ゴールドストーンボソンと核子の散乱振幅で与えられる

が、散乱振幅を観測されないエネルギー点へ解析接続をする必要があり、実験を忠実に再現する理論計算が必要となる。本研究では、理論のパラメータを複数の方法で実験から決め、 $K^+p$  反応ではどの方法でも矛盾なく実験データを再現することができたが、 $K^+n$  を含むアイソスピン0の散乱振幅はデータ間に矛盾があるようで確定的な散乱振幅を得られないことが分かった。そのことを反映し、核媒質中でクォーク凝縮を予測するには、より詳細な実験データ、特に、低エネルギーでの  $K^+n$  散乱の情報が必要であることを指摘している。

第7章では、 $K$  中間子原子における強い相互作用によるエネルギーの斥力シフトの起源を明らかにしている。 $K$  中間子原子は負の電荷を持った  $K$  中間子と原子核の主にクーロン相互作用による束縛状態であり、 $K$  中間子は原子軌道を回っているが  $K$  中間子と原子核の間には強い相互作用による補正が加わる。 $K$  中間子と核子の間には強い引力があることが知られているので、 $K$  中間子と原子核の間の強い相互作用も引力と期待されるが、原子軌道を回る  $K$  中間子の強い相互作用によるエネルギーシフトは斥力的である。斥力の起源として考えられるのは、 $K$  中間子と原子核が強い相互作用で束縛状態を作ればその状態との結合により原子軌道のエネルギーが押し上げられる可能性と、 $K$  中間子の原子核への吸収ポテンシャルが斥力的に働く可能性が考えられる。前者の場合は、 $K$  中間子と原子核の相互作用が束縛状態を作るほどに強いことが示唆される。本研究では、中重核による  $K$  中間子原子のエネルギーシフトを包括的に説明するポテンシャルを見だし、斥力シフトがポテンシャルの虚部、すなわち、 $K$  中間子の原子核への吸収効果に起源があることを明らかにした。

第8章では、本博士論文のまとめと今後の展望が述べられている。

以上のように、本学位論文においてなされた研究は、 $K$  中間子をプローブとして強い相互作用におけるストレンジネスの役割とフレーバー対称性の破れの影響を明らかにする上で非常に有意義であり、今後 J-PARC 等で展開される  $K$  中間子を用いたさらなる実験を刺激するものである。本論文は申請者の優れた研究能力を示すとともに、この分野の研究の発展に大きく寄与するものであり、博士(理学)の学位論文として十分に価値のあるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。